基于现代天文行星历表的仲康日食研究[1]

马利华，韩延本，尹志强，乔琪源

中国科学院国家天文台，北京 100101

摘要：关于仲康日食的记载可能是人类历史上最早的一次日食记录，可惜没有记载日食的发生日期。夏商周断代工程研究认为发生在公元前 2043 年 10 月 3 日、公元前 2019 年 12 月 6 日、公元前 1970 年 11 月 5 日和公元前 1961 年 10 月 26 日的日食都可能是仲康日食的备选者。本文作者利用美国航空航天局（NASA）喷气推进实验室（JPL）发布的现代天文行星历表，计算了这些仲康日食备选者的日食带分布和夏都斟鄩的见食情况，确认了它们在斟鄩的可视性，结果支持夏商周断代工程给出的备选的仲康日食的可能发生时间，并为仲康日食的深入研究提供一定的参考。

关键词：仲康日食；现代天文行星历表；日食带

中图分类号：P1　　**文献标识码：**A　　**文章编号：**

我国是世界上天文学发展最早的国家之一，早在三千多年前就有可考的关于星象的文字记载。这些古代天象记载不仅对于历史研究和古代天文学研究有重要价值，在现代天文学研究中也起着重要的作用[1]。仲康日食（又称书经日食）被认为是发生于约公元前 20 世纪至前 22 世纪夏朝仲康年间的一次日食，可能是人类历史上记载最早的一次日食。古籍中关于仲康日食的记载主要有三处，分别出自《左传·昭公十七年》、《尚书·胤征》与《史记·夏本纪》。其中，《左传》中的内容引自《夏书》，并没有说明日食发生于仲康年间。《尚书·胤征》与《左传》中相关内容基本相同，但点明发生于仲康年间，同时记季节为“季秋月朔”，而非《左传》中的“孟夏”。后世对仲康日食具体时间的推算也多以《尚书》中的“季秋”作为重要依据。《史记·夏本纪》中虽未直接记录此次日食，但其中“废时乱日”被认为可能是暗指此次日食。自梁武帝时的虞邝认为这次日食发生于仲康元年以来，中外天文学家对于仲康日食的具体时间推算已经进行了 1300 余年。最早计算仲康日食是我国唐代天文学家一行，他在编制《大衍历》时采用历术推步方法计算得出仲康日食的年代为公元前 2128 年 10 月 13 日。500 多年之后，

[1]收稿日期：2020-9-；　修订日期：

作者简介：马利华，男，研究员，博士，研究方向：应用天文学. E-mail：mlh@nao.cas.cn

我国元代天文学家郭守敬在编算《授时历》时也对仲康日食进行了计算，得到与一行相同的结果[2]。其后，一些中外天文学家也得到一些新的计算结果。仲康日食的发生日期有多达 14 个完全不同的结果，这些日期的跨度约 300 年。1996 年启动的国家“九五”科技攻关重点项目“夏商周断代工程”对这些说法进行了核算，并对夏都斟鄩在公元前 2250 年至前 1850 年共 400 年间的可见日食进行普查性分析后，认为发生于公元前 2043 年 10 月 3 日、公元前 2019 年 12 月 6 日、公元前 1970 年 11 月 5 日和公元前 1961 年 10 月 26 日的四次日食可作为仲康日食的备选者[3,4]。

天文行星历表对于天文学和地球科学及其他相关学科领域都具有重要的实用价值。目前，美国航空航天局（NASA） 喷气推进实验室（JPL）发布的 DE 系列现代天文行星历表已经在天体测量、深空导航、行星际探测等方面得到较为广泛的应用。2009 年 9 月 JPL 发布 DE422 行星历表[5]，数据跨度自公元前 3001 年 12 月 7 日至公元 3000 年 1 月 30 日，该历表可以满足研究者对古代天象记载研究的基本需求。虽然夏商周断代工程的结论在学术界引发了较大的质疑，但不影响基于现代天文行星历表对仲康日食观测的研究。本文利用 DE422 行星历表对发生在公元前 2043 年 10 月 3 日、公元前 2019 年 12 月 6 日、公元前 1970 年 11 月 5 日和公元前 1961 年 10 月 26 日等四个备选的仲康日食进行了计算，研究了它们的日食带的地理分布，并重点考察了夏都斟鄩对该四次日食的可观测情况，包括各食相的发生时刻及最大食分。

1　世界时改正数

JPL 发布的 DE422 行星历表采用国际天文联合会（IAU）推荐的国际天球参考系统（ICRS），对应的国际天球参考架（ICRF）是通过一套河外射电源的位置来实现。其坐标原点是太阳系质心，坐标轴的指向在太空中是固定的。DE422 行星历表的时间采用地球动力学时（TDT），由于地球自转的长期变化，TDT 和世界时（UT）之间存在一个时间改正数 ΔT。利用古代的天象记载情况，可以推算古代的 ΔT 数值。反之，已知古代某天象发生年代的 ΔT 数值，可以推算该天象当时的可观测情况[6,7]。Morrison 和 Stephenson 综合古代的若干天象记载，并设定月球本征加速度为−26.0 秒/(百年)^2，给出公元前 501 年之前的 ΔT 拟合公式

为[−20+32× (year−1820)^2/100^2]秒[7]。考虑到 DE422 行星历表中月球本征加速度为−25.85 秒/(百年)^2 [8]，因此需要在 ΔT 拟合公式中加入改正量，从而得到特定日期的世界时改正数。以下分别计算公元前 2043 年 10 月 3 日、公元前 2019 年 12 月 6 日、公元前 1970 年 11 月 5 日和公元前 1961 年 10 月 26 日的世界时改正数 ΔT，结果列于表 1。因为 ΔT 的测定依赖于古代的天象记载，公式得到的 ΔT 存在误差[9]。表 1 同时给出了 ΔT 误差范围，以及该误差引起的地面点的经度变化。

表 1 备选的仲康日食的世界时改正数

Table 1 The UT corrections of alternative Zhongkang solar eclipses

日期	世界时改正数 ΔT（秒）	ΔT 误差范围（秒）	ΔT 误差引起的经度变化（度）
公元前 2043 年 10 月 3 日	47470	±3910	±16.29
公元前 2019 年 12 月 6 日	46878	±3808	±15.87
公元前 1970 年 11 月 5 日	45689	±3603	±15.01
公元前 1961 年 10 月 26 日	45472	±3566	±14.86

2 基于 DE422 的备选仲康日食的计算

2.1 备选仲康日食的日食带分布

日食是月球运动到太阳和地球中间时，月球身后的黑影正好落到地球上的特殊天文现象。根据日月位置的几何关系，可以得到日食在地球表面的可观测情况，即日食带分布[10]。图 1 给出公元前 2043 年 10 月 3 日日食的日食带分布，左右子图分别对应地球动力学时（TDT）框架和世界时（UT）框架。可见，地球自转的长期变化直接导致了日食带的整体平移。

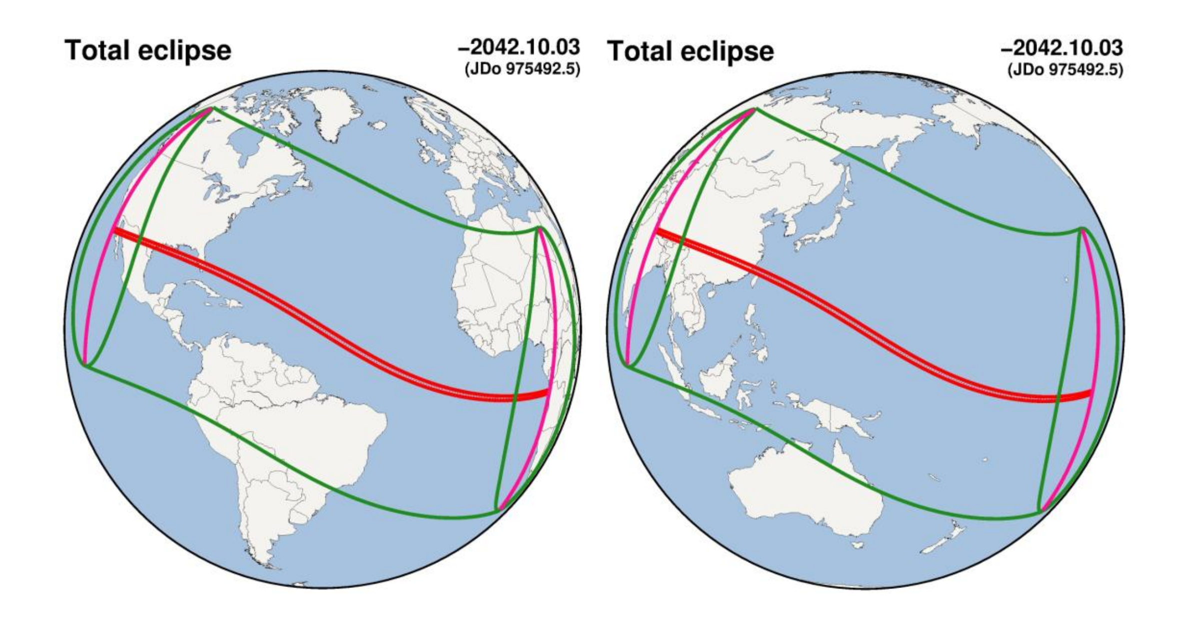


图 1 公元前 2043 年 10 月 3 日的日食带分布（正射投影，左：TDT；右：UT）

Fig. 1 The solar eclipse path on October 3, 2043 BCE (orthographic projection, L: TDT; R: UT)

为了直观显示，以下采用等距方位投影方法绘制此次日食在世界时（UT）框架下的日食带分布（见图 2）。

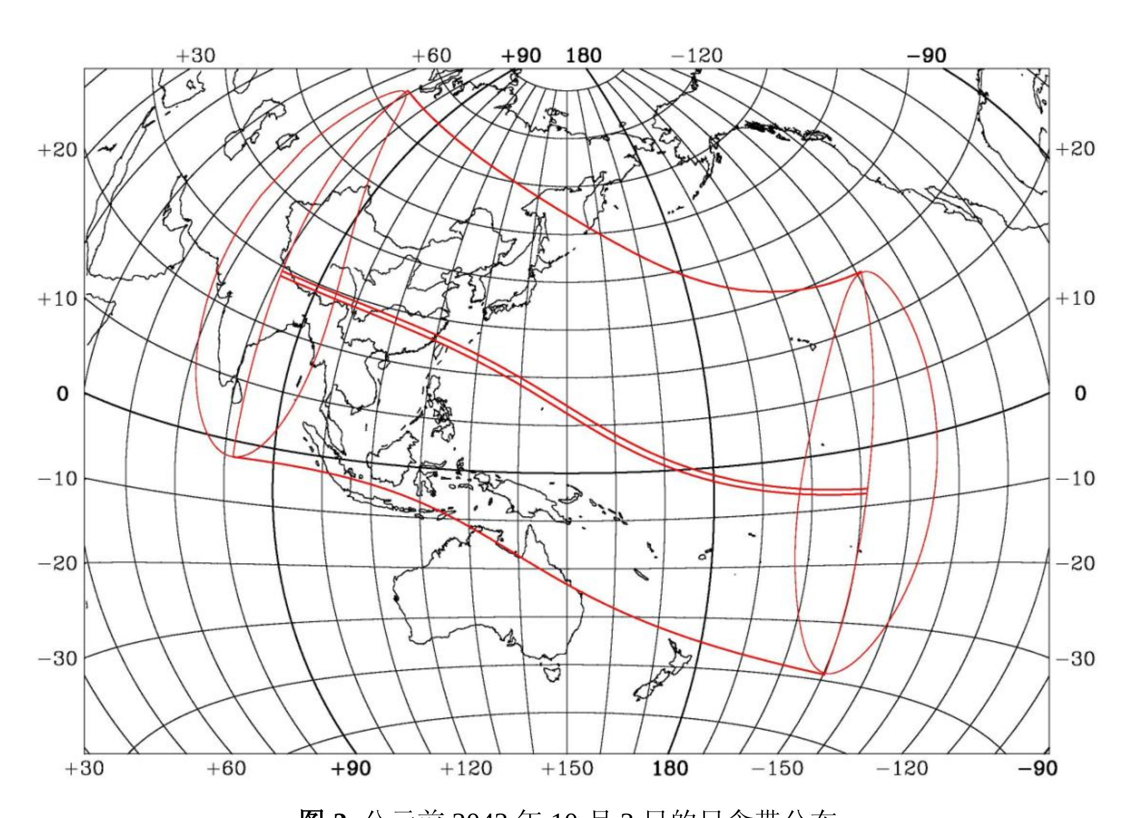


图 2 公元前 2043 年 10 月 3 日的日食带分布

Fig. 2 The solar eclipse path on October 3, 2043 BCE

进一步结合表 1 给出的世界时改正数 ΔT 的值，分别计算发生于公元前 2019 年 12 月 6 日、公元前 1970 年 11 月 5 日和公元前 1961 年 10 月 26 日的三次备选的仲康日食，并绘制世界时框架下的日食带分布（见图 3-5）。

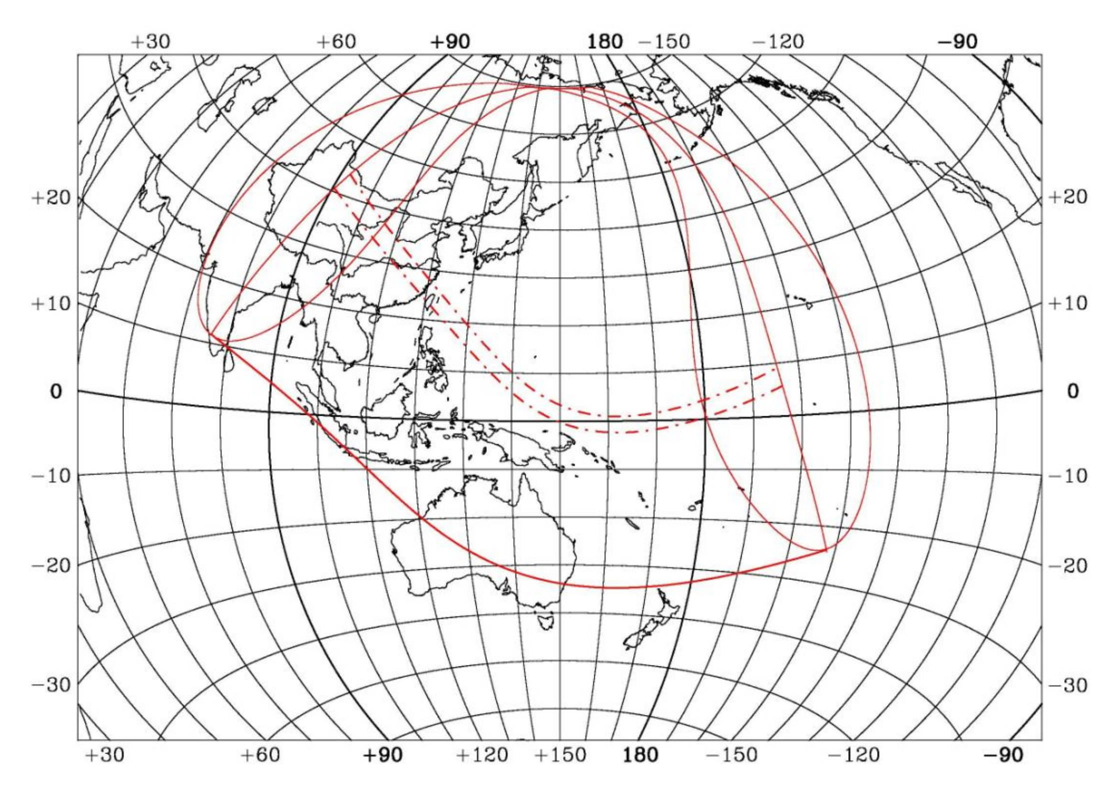


图 3 公元前 2019 年 12 月 6 日的日食带分布(UT)

Fig. 3 The solar eclipse path on December 6, 2019 BCE

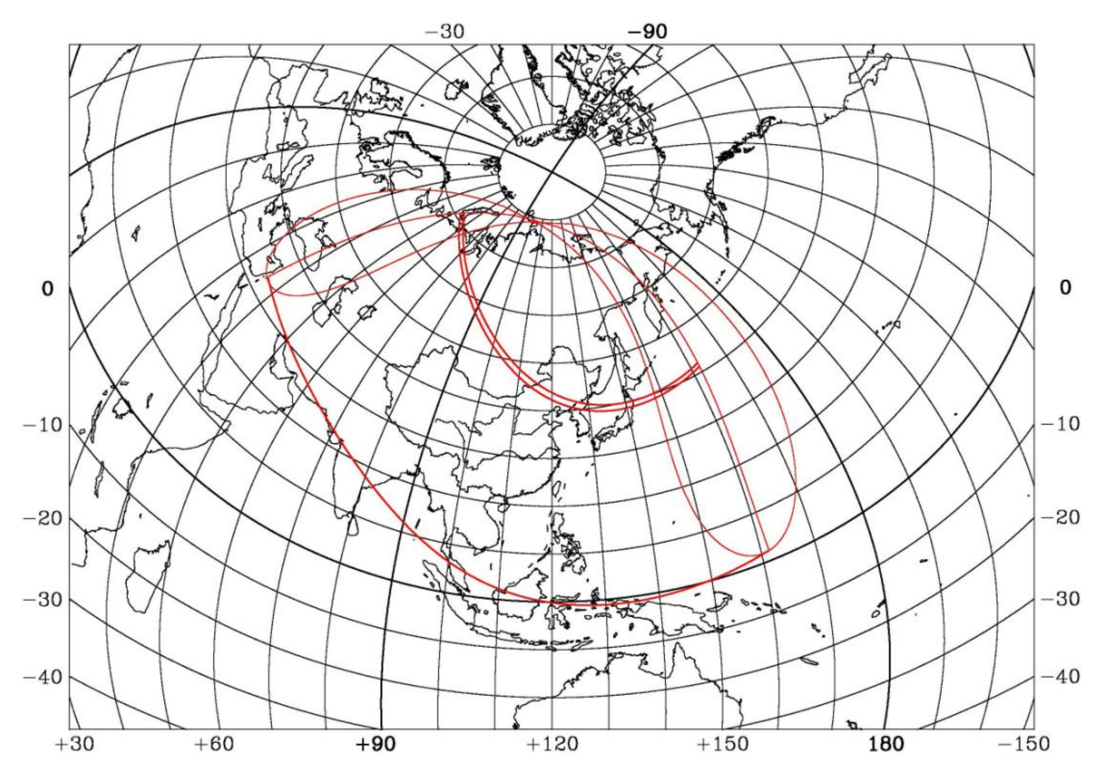


图 4 公元前 1970 年 11 月 5 日的日食带分布

Fig. 4 The solar eclipse path on November 5, 1970 BCE

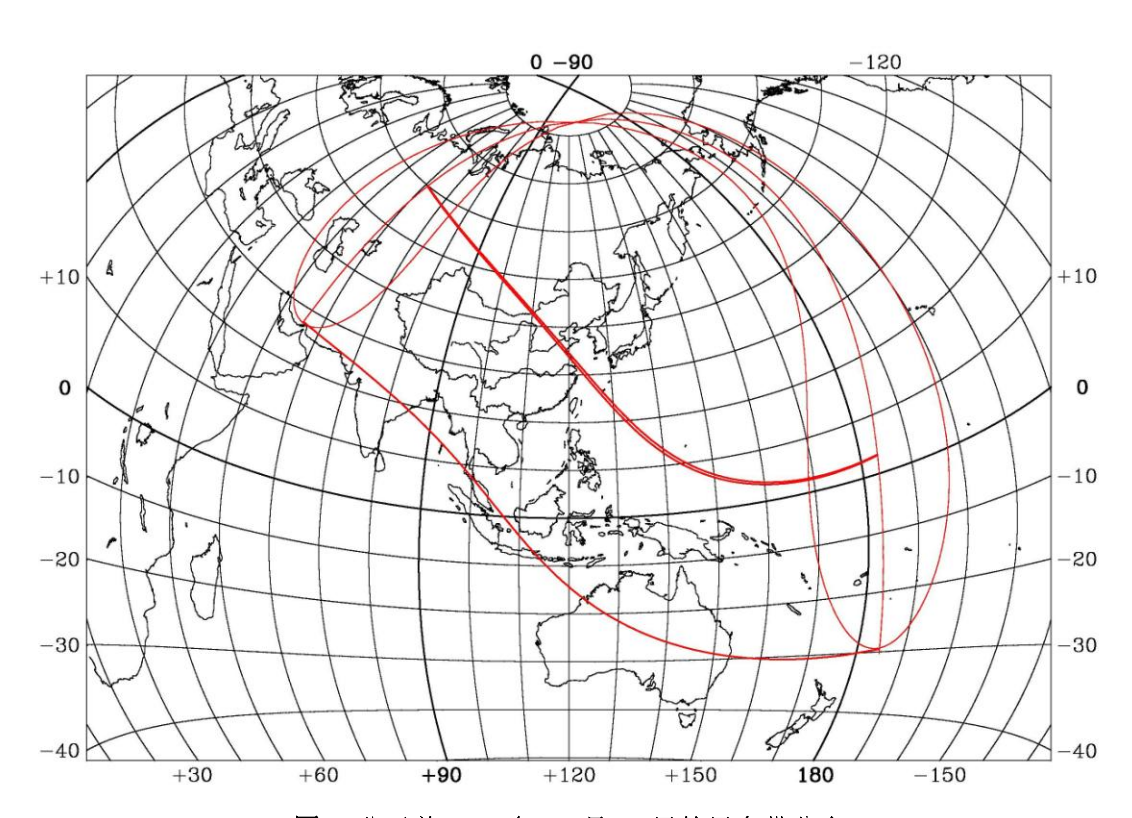


图 5 公元前 1961 年 10 月 26 日的日食带分布

Fig. 5 The solar eclipse path on October 26, 1961 BCE

2.2 备选的仲康日食在斟鄩的见食情况

经考证夏朝斟鄩为今河南洛阳附近，计算该地（34 °62N，112 °45E）对以上备选的仲康日食的见食情况，结果列于表 2。表列中“地方时”为世界时加上当地经度除以 15 得到。

表 2 斟鄩见食情况统计表

Table 2 Statistics table of solar eclipse observations in Zhenxun

日期	食相	地球动力学时 (hh:mm:ss)	地方时 (hh:mm:ss)	食分	日出地方时 (hh:mm:ss)	日落地方时 (hh:mm:ss)
公元前 2043 年 10 月 3 日	初亏	12:51:58	7:10:36	/	5:44:23	18:07:54
	食甚	13:56:13	8:14:51	0.79		
	复圆	15:07:08	9:25:46	/		
公元前 2019 年 12 月 6 日	初亏	12:57:31	7:26:01	/	6:47:46	16:58:52
	食甚	14:18:27	8:46:57	0.88		
	复圆	15:52:23	10:20:53	/		
公元前 1970 年 11 月 5 日	初亏	16:54:57	11:43:16	/	6:15:28	17:24:29
	食甚	18:19:42	13:08:01	0.82		
	复圆	19:40:39	14:28:58	/		
公元前 1961 年 10 月 26 日	初亏	14:33:57	9:25:53	/	6:06:26	17:35:34
	食甚	15:51:25	10:43:21	0.87		
	复圆	17:12:51	12:04:47	/		

可以看出，这些日食发生在斟鄩的白天，并且食分都比较大，处在 0.79−0.88 之间。如果当日不是阴雨天，这些日食造成的天空亮度变化是非常明显的，会引起当时古人的注意，甚至能造成古人的恐慌。从天文学的角度来说，这些日食如果遇到好的天气，是具备成为仲康日食的基本条件的。需要指出的是，计算表 2 所列的时刻值时使用了表 1 中的世界时改正数 ΔT 值。因为 ΔT 存在误差，所以表 2 中斟鄩见食的时刻值也存在误差。

3 小结

本文利用美国 JPL 发布的 DE422 现代天文行星历表，计算了可能发生于公元前 2043 年 10 月 3 日、公元前 2019 年 12 月 6 日、公元前 1970 年 11 月 5 日和公元前 1961 年 10 月 26 日的 4 个备选的仲康日食的有关参数，给出日食带的地理分布和夏都斟鄩的见食情况。结果表明，斟鄩对这些备选的仲康日食具有实际观测到的天文条件，支持夏商周断代工程得到的备选的仲康日食发生日期的初步

结果。当然，真正的仲康日食是不是这 4 个备选日食中的一个，目前单靠天文学的研究结果难以给出确切答案，还需要与历史学家甚至包括考古学家的研究结合起来，开展更深入的研究和综合分析。本文结果可为仲康日食的深入研究提供一定的参考。

参考文献

1. 冯时. 中国天文考古学(第 3 版)[M]. 北京: 中国社会科学出版社, 2017.
Feng S. Astroarchaeology in China (3rd Ed)[M]. Beijing: China Social Sciences Press, 2017.
2. 吴守贤. 夏仲康日食年代确定的研究史略[J]. 自然科学史研究, 2000, 19(2): 114-123.
Wu S X. Research on determining the age of Zhong-kang solar eclipse in Xia dynasty[J]. Studies in the History of Natural Sciences, 2000, 19(2): 114-123.
3. 夏商周断代工程专家组. 夏商周断代工程 1996—2000 阶段成果报告（简本）[M]. 北京：世界图书出版公司，2000.
Expert group of the Xia-Shang-Zhou Chronology Project. 1996-2000 Achievement Report of the Xia-Shang-Zhou Chronology Project (simplified version)[M]. Beijing: World Book Publishing Company, 2000.
4. 刘次沅. 中国早期日食记录研究进展[J]. 天文学进展, 2003, 21(1):1-10.
Liu C Y. Progress in studies of solar eclipses recorded in early China[J]. Progress in Astronomy, 2003, 21(1): 1-10.
5. Konopliv S, Asmar S W, Folkner W M, et al. Mars high resolution gravity fields from MRO, Mars seasonal gravity, and other dynamical parameters[J]. Icarus, 2011, 211: 401–428.
6. 韩延本. 由古代天象记载研究揭示的地球自转变化的两个重要现象[J]. 地球物理学进展, 1996, 11(4): 116-118.
Han Y B. Two interesting phenomena in variation of the Earth's rotation derived from studies of records of ancient astronomical observations[J]. Progress in Geophysics, 1996, 11(4): 116-118.
7. Morrison L V, Stephenson F R. Historical values of the Earth's clock error ΔT and the calculation of eclipses[J]. Journal for the History of Astronomy, 2004, 120: 327-336.
8. Williams J G, Boggs D H, Folkner W M. DE421 lunar orbit, physical librations, and surface coordinates, 2008, http://naif.jpl.nasa.gov/pub/naif/generic_kernels/spk/planets/de421_lunar_ephemeris_and_orientation.pdf
9. Huber P J. Modeling the length of day and extrapolating the rotation of the Earth[J]. Journal of Geodesy, 2006, 80(6): 283-303.
10. 唐汉良, 余宗宽, 沈昌钧. 日月食计算[M]. 南京: 江苏科学技术出版社, 1980.
Tang H L, Yu Z K, Shen C J. Calculation of Solar and Lunar Eclipses[M]. Nanjing: Jiangsu Science and Technology Press, 1980.

Research on Zhongkang Solar Eclipse Based on Modern Astronomical Planetary Ephemeris

Ma Lihua，Han Yanben，Yin Zhiqiang，Qiao Qiyuan

(National Astronomical Observatories, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China, Email: mlh@nao.cas.cn)

Abstract: Historical record on the Zhongkang solar eclipse may be the earliest record of solar eclipse in human history. Unfortunately, the date of the solar eclipse wasn't given in the record. The Xia-Shang-Zhou Chronology Project thought that the eclipse may occur on October 3, 2043 BCE, December 6, 2019 BCE, November 5, 1970 BCE, or October 26, 1961 BCE. The authors use the modern astronomical planetary ephemeris released by the NASA's Jet Propulsion Laboratory (JPL) to calculate distribution of the Zhongkang solar eclipse path and visibility of the eclipse in Zhenxun, capital of the Xia dynasty. The visibility in Zhenxun supports the possible occurrence time of the eclipse given by the Xia-Shang-Zhou Chronology Project. This work also provides a certain reference for the further study of the Zhongkang solar eclipse.

Key Words: Zhongkang solar eclipse; modern astronomical planetary ephemeris; solar eclipse path